

文章编号: 1000-0550(2010) 03-0451-11

# 川西前陆盆地侏罗纪层序地层格架、沉积体系配置及演化<sup>1</sup>

朱志军<sup>1, 2, 3</sup> 陈洪德<sup>1, 3</sup> 胡晓强<sup>3</sup> 林良彪<sup>3</sup> 徐胜林<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学) 成都 610059;

<sup>2</sup> 东华理工大学地球科学与测绘工程学院 江西抚州 344000 <sup>3</sup> 成都理工大学沉积地质研究院 成都 610059)

**摘要** 通过地表露头 and 钻井岩心的观察, 以及测井曲线和地震剖面的综合分析, 对分割川西前陆盆地侏罗系陆相碎屑岩充填实体的层序界面进行了识别和追踪, 将该区层序界面划分为两种类型: 不整合面及侵蚀沉积间断面和最大湖泛面, 据此在全盆侏罗系地层中识别出 13 个层序界面, 将川西前陆盆地侏罗系划分为 13 个三级层序。据盆地沉积特征, 自西向东选择一些有代表性的层序剖面, 进行盆地内不同相带间的层序对比, 建立了研究区侏罗纪等时层序地层格架。并在川西前陆盆地侏罗系中识别出 4 种沉积体系: 冲(洪)积、湖泊、扇三角洲、三角洲沉积体系。并在层序格架中讨论了各沉积体系的横向展布, 大体是从盆地西缘到东缘为冲积扇—冲积平原、三角洲平原—三角洲前缘—湖底扇—滨浅湖—半深湖—三角洲—曲流河的展布方式。其中冲积扇和冲积平原分布范围相对较小, 而三角洲—滨浅湖分布范围广阔, 且三角洲与浅湖相在垂向上频繁交替。

**关键词** 川西前陆盆地 侏罗系 层序地层格架 沉积体系 层序界面

**第一作者简介** 朱志军 男 1976 年出生 讲师 博士研究生 油气盆地分析 E-mail zhuzj1@163.com

**中图分类号** TE121.3 **文献标识码** A

近年, 随着川西前陆盆地侏罗系浅层天然气勘探、开发的不断深入, 对侏罗系的研究要求也越来越精细。许多学者就局部地区从沉积作用、沉积盆地性质、层序地层、构造充填等多方面对川西前陆盆地侏罗系地层进行了深入的研究<sup>[1-7]</sup>, 并取得了大量成果, 但还未见就全盆地侏罗系进行等时层序格架、沉积体系配置及演化进行研究。因此开展川西前陆盆地侏罗系层序地层格架、沉积体系的时空展布研究, 对侏罗系储层的识别和预测工作都具有重要的理论和实际意义。

川西前陆盆地是指晚三叠世以来的四川盆地中西部地区, 相当于四川盆地构造分区中的川西断褶带和川中地块区的西部<sup>[8-12]</sup>。盆地内充填物巨厚, 包括上三叠统须家河组、侏罗系、白垩系。其中侏罗系为陆相碎屑岩沉积, 总厚度达 1 500~ 4 700 m, 自下而上包含的地层单元有: 下侏罗统白田坝组  $J_1b$  (往盆地内部称自流井组  $J_1z$ ); 中侏罗统千佛崖组  $J_2q$  (往盆地内部称新田沟组  $J_2x$ )、沙溪庙组  $J_2s$  (分上、下 2 段, 下段常称为下沙溪庙组  $J_2s^1$ , 上段常称为上沙溪庙组  $J_2s^2$ ); 上侏罗统遂宁组  $J_3sn$  和莲花口组  $J_3l$  (往盆地内部称蓬莱镇组  $J_3p$ )。

## 1 川西前陆盆地侏罗系层序界面识别及划分

前陆充填盆地的盆缘山系周期性推覆构造活动是层序发育和层序界面形成的主控因素。由于盆地不同地带存在不均一的构造作用和沉降速率, 导致层序界面性质在盆地的不同部位存在较大差异。对应周边构造山系的逆冲推覆作用, 在盆缘周期性地出现构造不整合面和大型侵蚀冲刷面(沉积间断面), 以及以砾岩为代表的盆缘巨厚冲积扇沉积楔状体, 并产生向盆地中心的进积作用。对应周边构造山系的逆冲推覆作用的减弱乃至停息, 则周期性地在盆内出现以黑色页岩、泥灰岩为代表的分布广泛的湖泛面标志, 并导致由盆内向盆边的退积作用。对于川西前陆盆地特别是西缘龙山门推覆构造带多期次的挤压推覆以及盆地的沉降, 充填序列在垂向上周期性出现以砾岩为代表的盆缘巨厚冲积扇楔状体和盆内以相当最大湖泛期沉积的页岩、泥灰岩为标志的最大湖侵沉积体系, 在横向上则表现为不同的沉积体系配置和沉降中心的迁移。垂向上的旋回性变化特点以及横向上各种相带的有规律组合使得川西前陆盆地侏罗系充填体具备了进行层序地层研究的基础。

<sup>1</sup> 国家自然科学基金重点项目(批准号: 40739901)资助。

收稿日期: 2009-03-26 收修修改稿日期: 2009-06-29

## 1.1 层序界面

通过地表露头和钻井岩心的观察,以及测井曲线和地震剖面的综合分析,对分割前陆盆地侏罗系充填实体的层序界面分别进行识别和追踪,可将本区川西前陆盆地侏罗系的层序界面划分为两种层序界面:不整合面及侵蚀沉积间断面和最大湖泛面。

### 1.1.1 不整合面及侵蚀沉积间断面

川西前陆盆地由钻井揭示和露头显示的区域性不整合面主要有如下几个层位:

1) 侏罗系底面为一区域性构造不整合面,如在龙门山中北段和米仓山—大巴山前缘的地表露头区,下侏罗统白田坝组呈角度不整合上覆于须家河组的不同层位上,其下伏地层已褶皱变形。如在江油海棠铺气田,由钻井揭示的下侏罗统与须四和须五段的接触关系为平行不整合接触,而与褶皱变形的小塘子组至须三段则呈角度不整合接触关系,局部直接角度不整合超覆在下三叠统飞仙关组之上。该界面于盆内的大部分地区表现为自流井组对须家河组的超覆至整合过渡关系。

2) 中侏罗统千佛崖组底界由盆缘的构造不整合向盆内整合过渡,在龙门山中段,可见到千佛崖组高角度不整合于须家河组之上,交角达  $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ,界面起伏不平,其上发育有一层厚约 20~30 m 白色粘土层,其间缺失下侏罗统。盆内与其层位相当的新田沟组与下伏自流井组呈超覆不整合或侵蚀冲刷接触关系。

3) 中侏罗统下沙溪庙组与下伏千佛崖组的分界面上,在川西什邡、彭州一带普遍发育有古土壤层,局部为残积型铝土矿并被开采利用。区域上,该界面起伏不平,含有丰富的钙结核和铝铁质结核,界面下的千佛崖组顶部地层保存不全,表明存在持续时间较长的沉积间断。从区域地层对比上看,该界面表现为下沙溪庙组底部的“关口砂岩”对界面的渐进超覆不整合接触关系。

4) 盆地边缘地区的上沙溪庙组底部的“嘉祥寨砂岩”直接超覆在下沙溪庙组顶部代表最大湖泛期沉积的“叶肢介页岩”之上,呈岩性突变关系,如川合 100 井、川 87 井、川 1 井、川苏 102 井等,均以“嘉祥寨砂岩”与“叶肢介页岩”的岩性突变面为上、下沙溪庙组的分界面。局部钻遇的“嘉祥寨砂岩”直接超覆在下沙溪庙组的中下部地层之上,“叶肢介页岩”被“嘉祥寨砂岩”截切缺失,如川 118 井。而在盆地东部,“嘉祥寨砂岩”与“叶肢介页岩”之间往往还发育

有代表上沙溪庙组高位期沉积的厚约 20~80 m 的浅湖相砂泥岩。以上特征表明上沙溪庙组底部存在较大规模的区域性侵蚀冲刷作用,亦具有不整合面性质。

5) 盆缘的上侏罗统莲花口组底界面,在地表露头上表现为一不平整的起伏界面,界面之上的莲花口组冲积扇对下伏遂宁组滨湖相砂泥岩有强烈下切侵蚀作用,且上、下地层间于局部见微角度不整合接触关系。虽然该界面于盆缘地区表现为与构造运动有关的强烈不整合界面,但向盆内方向,由地表露头和众多钻井所揭示的蓬莱镇组与遂宁组的接触关系,仅表现为底部紫灰色“蓬莱镇砂岩”与遂宁组鲜红色泥岩呈岩性突变关系,界面亦具侵蚀冲刷作用,但幅度不大,以具平行不整合界面性质为主。

6) 上侏罗统蓬莱镇组与下白垩统苍溪组(或剑门组)之间,于全盆地范围内表现为构造不整合接触关系,以下白垩统苍溪组冲积扇砾岩大幅度截切超覆在蓬莱镇组湖相砂泥岩地层之上为特征,并造成大部分地区蓬莱镇组的上部地层部分缺失,古土壤化的现象很普遍。

### 1.1.2 最大湖泛面

最大湖泛面的物质表现一般为厚度不大的暗色泥岩、页岩或薄层泥灰岩。在地表露头、钻井岩心和测井剖面中,此类界面以其特有的岩性岩相特征,以及出现在加积 $\rightarrow$ 退积式组合折向加积 $\rightarrow$ 进积式组合的相转换面位置易于识别。此类界面发育层位稳定,岩性单一,等时性强,识别标志清晰,因而是陆相层序地层划分的首选层序界面。川西前陆盆地侏罗系地层中,最大湖泛面比较发育,为层序划分提供了有利的条件和可靠的保证。最大湖泛面主要有:1) 自流井组东岳庙段中部的泥灰岩;2) 自流井组大安寨段中部的黑色页岩;3) 新田沟组中部的黑色页岩;4) 下沙溪庙组顶部的“叶肢介页岩”;5) 上沙溪庙组中下部的暗色泥岩;6) 遂宁组中部的“灰鸽页岩”;7) 蓬莱镇组下部的“苍山页岩”;8) 太平场页岩;9) 蓬莱镇组中部的“梨树湾页岩”;10) 蓬莱镇组上部的“景福院页岩”。

最大湖泛面仅发育于盆内的湖泊沉积区,在盆地边缘的冲积扇和河流沉积为主的冲积平原区不发育;侵蚀间断面及不整合面则主要发育于盆地边缘沉积区,而在盆地内部湖泊相区则不发育,此类界面向盆内延伸则逐渐过渡为相关整合界面。

1.1.3 层序界面特征

在川西前陆盆地侏罗系层序地层分析研究中, 根据上述层序界面类型, 界面识别标志, 共识别出不同类型、性质的三级层序界面 13 个 (表 1), 各层序界面及其特征如下:

表 1 川西前陆盆地侏罗系层序界面特征与层序划分

Table 1 Jurassic sequence boundary characteristics and sequence division in western Sichuan foreland basin

年代地层	岩石地层		界面	构造运动	地质年龄/Ma	三级层序	沉积相配置			
系	统	组						段		
白垩系	K <sub>1</sub> -K <sub>2</sub>	夹关组					冲积扇—河流			
侏罗系	上统	蓬莱镇组 (莲花口组)	5 段	燕山二幕	144	SQ13	冲积扇—河流—三角洲—湖泊			
			4 段			SQ12				
			3 段			SQ11				
			2 段			SQ10				
			1 段			SQ9				
		上统	遂宁组	上段		154	SQ8	冲积扇—河流—三角洲—湖泊		
				下段			SQ7			
						156				
							SQ5-6	冲积扇—河流—湖泊		
						172	SQ4	冲积扇—河流—三角洲—湖泊		
	中统	上沙溪庙组		SB-5	燕山一幕	175	SQ3	冲积扇—河流—湖泊		
				SB-4						
		下沙溪庙组								
下佛崖组										
下统	自流井组 (白田坝组)	大安寨段	SB-2	189	194	SQ1-2	河流—三角洲(滨岸)—湖泊			
		马鞍山段								
		东岳庙段								
		珍珠冲段								
三叠系	上统	须家河组	SB-1	印支 III 幕	208		扇三角洲—湖泊			

1) SB-1 下侏罗统自流井组 (白田坝组) 与上三叠统须家河组的分界面。为一区域性不整合面。在龙门山北段, 白田坝组以角度不整合超覆于须家河组不同层位之上, 其它地区一般表现为平行不整合。

2) SB-2 千佛崖组 (Jq) 与白田坝组 (Jb) 的分界面, 界面之下为湖泊沉积, 界面之上则为河流沉积 (龙门山中南段为冲积扇相), 局部地区表现为微角度不整合, 在龙门山中段什邡一带, 可见千佛崖组高角度不整合于须家河组之上。

3) SB-3 中侏罗统沙溪庙组与千佛崖组的分界面。是一区域性侵蚀不整合面。在什邡—彭县一带局部发育古土壤层, 在彭县两河口和崇庆等地区, 该界面表现为微角度不整合。

4) SB-4 位于沙溪庙组内部, 是沙溪庙组上、下

段的分界面, 即叶肢介页岩的顶面, 为一最大湖泛面。

5) SB-5 位于沙溪庙组上段内部, 为一岩性岩相结构转换面。

6) SB-6 相当于上侏罗统遂宁组与中侏罗统沙溪庙组的分界面。该界面在盆地西缘表现为侵蚀间断, 在盆内表现为相关整合面, 在垂向层序上是一个由粗转细的相转换面, 界面之上以滨湖—浅湖相沉积为主, 界面之下以河流相、三角洲相沉积为主。

7) SB-7 位于遂宁组内部, 即“灰鸽页岩”的顶界面, 这是一个由细转粗的相转换面, 即最大湖泛面。

8) SB-8 蓬莱镇组与遂宁组的分界面, 该界面为区域性侵蚀间断面或侵蚀不整合面, 界面不平整。

9) SB-9~ SB-12 这四个界面均位于蓬莱镇组内部, 界面性质相似, 均为最大湖泛面, 自下而上分别为苍山页岩、太平场页岩、梨树湾页岩及景福院页岩的顶面。

10) SB-13: 白垩系与上侏罗统蓬莱镇组的分界面。为一区域性平行不整合面。该界面一般凹凸不平, 具明显侵蚀现象, 界面上发育白色黏土, 下伏地层有明显的层位缺失现象, 上覆地层为冲积扇、河流相沉积, 下伏地层为扇三角洲、三角洲和滨浅湖相沉积。

上述 13 个层序界面的特征明显, 分布广泛, 可进行大范围追踪和对比。但是, 由于盆地不同地带存在着不均一的构造作用和沉降速率, 导致层序界面性质在盆地的不同部位存在较大差异。

1.2 层序格架

根据上述不整合面及侵蚀沉积间断面和最大湖泛面在地表露头及钻井 (测井) 剖面上的发育状况及前人研究成果<sup>[4, 7, 13-18]</sup>, 将川西前陆盆地侏罗系划分为 13 个三级层序。据盆地沉积特征, 选择一些有代表性的层序剖面, 进行盆地内不同相带间的层序对比, 进而建立起本区侏罗系层序地层格架 (图 1)。为了全面正确地反映川西前陆盆地侏罗系层序地层的空间格架面貌, 从南到北共截取了川西南部 (10 个剖面)、川西北部 (8 个剖面) 二个断面, 每个沉积断面都按照从盆地边缘到盆地中心的方向布置。分别反映了盆地南北部由西向东的横向变化情况。限于篇幅, 仅对川西南部断面进行说明。

通过等时层序地层格架, 可以清楚地揭示出侏罗系层序地层的空间变化及展布特征, 除顶部 SQ13 外, 在全盆地范围内分布比较稳定, 一般 SQ1~ SQ12 层序发育完全, 只是在个别地区底、顶发育不全或保留不完整, 例如在盆地边缘往往缺失 SQ1、SQ2 而在

盆地的一些地区,由于蓬莱镇组与上覆白垩系在区域上均表现为明显的平行不整合关系,蓬莱镇组普遍遭受不同程度的侵蚀,因此多缺失 SQ11~SQ13 有些地方甚至缺失更多。层序的厚度变化也比较明显,其变化的特点总体是靠近盆地边缘坳陷厚度最大,而盆地边缘和盆地内部的厚度相对较小。另外,沿盆地边缘的不同地段或盆地内部的不同地段,其厚度也有明显的变化,其中最显著的是龙门山南段天全一带与芦山两河口之间与龙门山北段广元一带的厚度差别,达千米以上,这种层序厚度的巨大差别,反映了川西前陆盆地发展演化过程中地域差异或不均衡性,并从龙门山中南段来看,天全一带盆地边缘侏罗系层序厚度是最薄的地方,只有 600 多米,其沉积物的粒度也是盆地边缘带相对最细的,很少有砾岩一级的粗碎屑沉

积,相反,在芦山两河口一带,侏罗系层序厚度较大,且沉积物的粒度也很粗,几乎全由砾岩组成,因此可以认为芦山两河口一带为推覆构造活动剧烈的地段,也是盆地沉降最强烈,充填厚度最大,粒度最粗的地方。

## 2 川西前陆盆地侏罗系沉积体系研究

在众多前人研究成果的基础上<sup>[6 19~20]</sup>,根据区域沉积格局和沉积作用特点等沉积体系划分标志,通过对盆地约 35 条野外露头剖面的实地观测和室内分析及盆内大量钻井的测井资料的综合分析,在川西前陆盆地侏罗系地层中识别划分出 4 种沉积体系(表 2),冲(洪)积、湖泊、扇三角洲、三角洲沉积体系。限于篇幅,下面就每类沉积体系的亚相简单介绍如下。

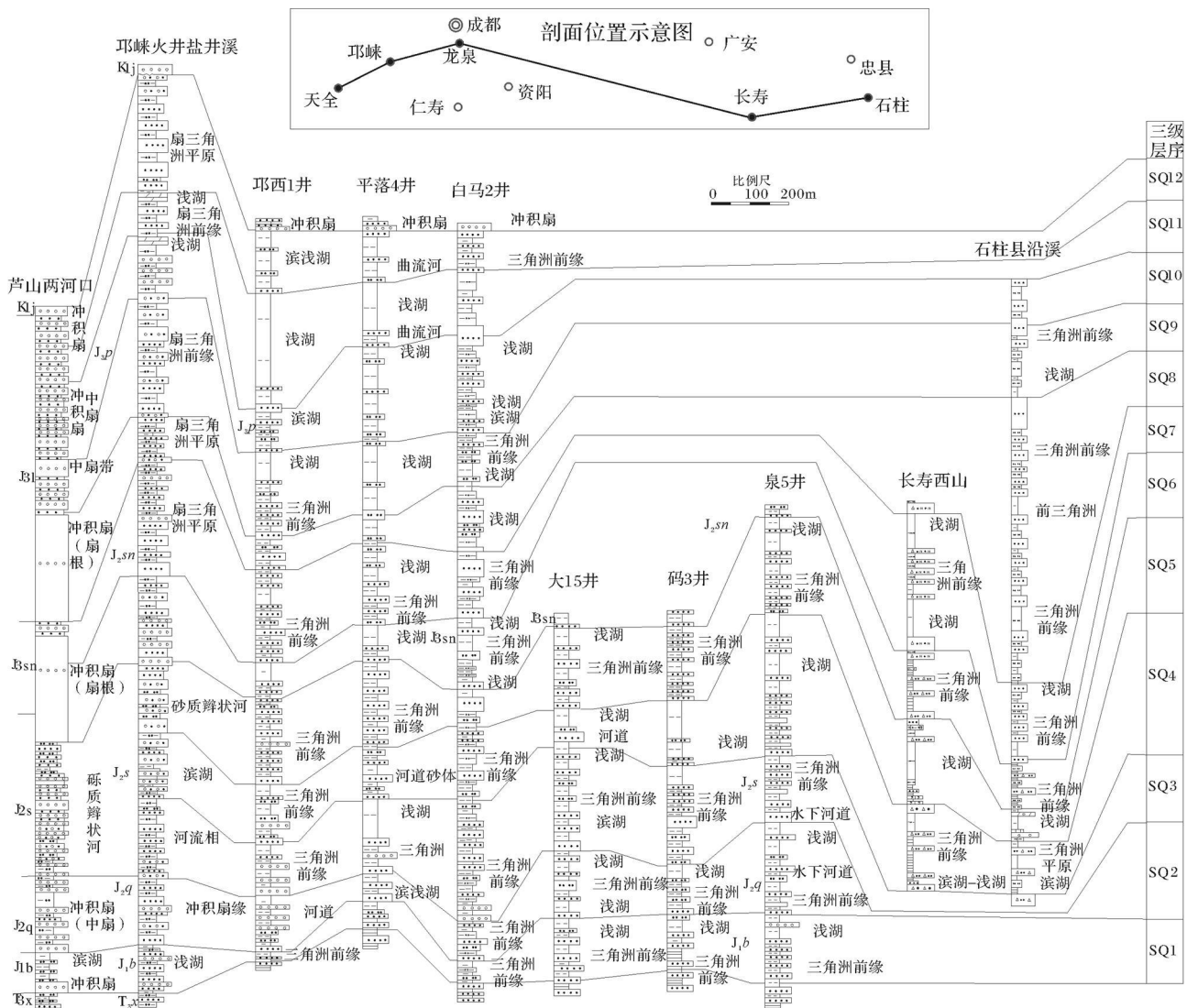


图 1 川西前陆盆地南部侏罗系层序地层格架

Fig 1 The Jurassic sequence stratigraphic framework in the south of the western Sichuan foreland basin

表 2 川西前陆盆地侏罗系沉积体系划分

Table 2 Jurassic depositional systems division in western Sichuan foreland basin

沉积体系	沉积相	亚相	微相	分布地区	分布层位
	冲积扇	扇根、扇中、扇端		盆地西缘	J <sub>1-3</sub>
冲积	冲积平原	辫状河曲流河 河道 洪泛平原	河床滞留、心滩、边滩、决口扇、天然堤、洪泛平原	盆地西部	J <sub>2-3</sub>
湖泊	湖泊	滨湖、浅湖、深湖	介壳滩、湖底扇	盆地中东、西部	J <sub>1-3</sub>
扇三角洲	扇三角洲	扇三角洲平原 扇三角洲前缘 前扇三角洲	辫状河道、水道间洪泛 水下分流河道、河道间	盆地西缘	J <sub>3</sub>
三角洲	三角洲平原 三角洲	分流河道、河道间 三角洲前缘 前三角洲	湖盆边缘 水下分流河道、分流间湾、河口坝、远砂坝、席状砂	J <sub>1-3</sub>	

2.1 冲积扇

川西前陆盆地的西部边缘冲积扇非常发育, 从白田坝组到莲花口组, 几乎每个地层单元都发育冲积扇。沿盆地边缘, 同期发育的冲积扇往往连在一起而构成冲积扇裙, 这些冲积扇多数发育不完整, 偶见发育扇根、扇中、扇端三个亚相, 如川绵 39 井等 (图 2)。

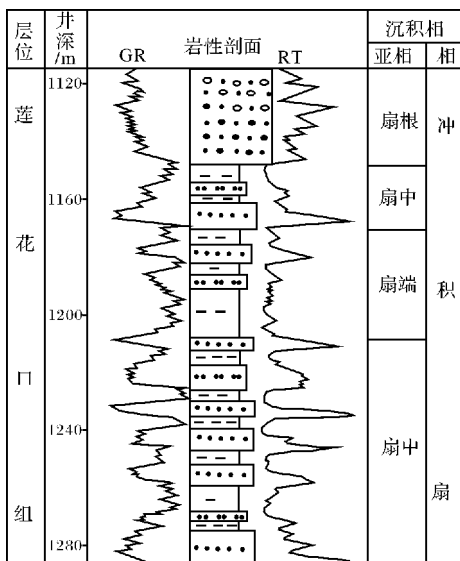


图 2 川绵 39 井冲积扇相沉积特征

Fig 2 Sedimentary features of alluvial fan in Well Chuan-mian 39

扇根亚相主要由深切河道充填砾岩组成, 主要由块状巨砾岩、卵石岩组成, 少量为粗—巨砾岩, 最大砾石长轴可达 120 cm, 其中 15 cm 以上的砾石可达 35% 以上, 砾石总量可达 80% 以上, 呈砾石支撑, 粗大砾石格架之间的充填物为砂级碎屑及部分细砾石。砾石磨圆度中等到较好, 分选性中等到较差, 成层性差, 局部具有粗大砾石呈叠瓦状排列。川西前陆盆地边缘冲积扇的扇根亚相很少, 主要见于南宝山向斜北

翼芦山宝盛到两河口及大川一带的上侏罗统下部, 以及在广元两河口、安县城西以及彭州丰乐, 上侏罗统莲花口组下部也见扇根亚相。

扇中亚相是川西前陆盆地各期冲积扇中最发育的部分, 通常由扇面砾质辫状水道沉积和洪泛沉积两部分构成。在中扇带上部为辫状河道砾石坝沉积, 主要由粗砾岩及少量中—粗砾岩组成, 呈扁平状大型透透镜体产出。砾石含量大于 75%, 砾石支撑, 分选性、磨圆度中等到较好, 砾石定向性排列明显, 部分呈叠瓦状构造, 局部可见砾石坝迁移过程中形成的大型前积交错层理。在中扇带下部则由河道砾石坝沉积和溢出河道的洪泛砂泥质沉积两部分组成一系列向上变细的正粒序沉积, 扇面上砾石质辫状河道一般宽而浅, 洪水季节在河道两侧的河间地带常形成洪泛。洪泛沉积由紫红色或紫灰色含砾泥质不等粒砂岩、泥质不等粒砂岩以及不等粒砂质泥岩、粉砂质泥岩等组成, 分选性差, 一般不显层理。

扇端亚相主要由洪泛沉积构成, 基本岩性特征为暗红色、砖红色粉砂岩、泥质粉砂岩与粉砂质泥岩、泥岩互层。粉砂岩和泥岩中可见水平层理、钙质结核和虫管; 由于研究区内侏罗系各冲积扇体在横向上多与湖泊过渡, 而在湖盆边缘发育扇三角洲, 因而扇端亚相与扇三角洲的三角洲平原亚相连为一体不易区分, 或者说两者同属一个整体。

2.2 湖泊沉积体系

川西前陆盆地侏罗系湖泊相沉积分布广泛, 据岩性组合和沉积构造可划分出滨浅湖、半深湖—深湖等亚相。湖泊沉积体系在纵向上常表现出向上由粗变细的正粒序, 横向上常与湖泊三角洲沉积体系或扇三角洲沉积体系或冲积扇沉积体系呈指状交错过渡。

### 2.2.1 滨浅湖亚相

滨湖亚相以砂泥岩互层沉积为特征。据岩性、沉积构造和剖面结构及其组合可将滨湖相细分为砂质滩坝和滨湖泥。砂质滩坝: 岩性为紫灰、黄灰色粉—细粒石英砂岩和岩屑石英砂岩。碎屑颗粒呈次棱角—圆状, 分选较好, 颗粒支撑。砂体厚度较稳定, 底部偶见细砾岩, 具底冲刷、低角度板状交错层理, 中小型交错层理, 浪成沙纹层理, 平行层理, 钙质结核和虫迹。滨湖泥: 为紫红、棕红、黄绿色泥岩为主夹粉砂岩, 含少量砂质和钙质结核, 具沙纹层理和断续水平层理。

浅湖沉积以下侏罗统白田坝组(自流井组)和中侏罗统千佛崖组最具代表性, 盆地内部的遂宁组和蓬莱镇组中浅湖亚相也较发育, 以砂质滩坝、浅湖泥和少量碳酸盐介屑滩沉积为主, 主要岩性为薄层灰色、灰黑色、紫灰色、灰绿色泥(页)岩、粉砂岩夹绿色泥灰岩薄层。粉砂岩以石英砂为主, 少量岩屑及长石, 分选好, 棱角—次棱角状。常见爬升波痕层理、平行层理、浪成沙纹层理和虫管等沉积构造, 泥岩中水平层理发育。

### 2.2.2 半深湖—深湖亚相

主要见于龙泉山以东的白田坝组—沙溪庙组。岩性以灰、深灰色泥(页)岩为主, 夹褐灰色灰岩。具薄的水平层理及季节性纹理。泥岩和灰岩中见保存完好的叶肢介等浮游生物化石。横向上分布相对稳定, 下沙溪庙组顶部的叶肢介页岩还是良好的区域性标志层。湖底扇是半深湖、深湖区的又一种沉积类型, 是由浊流携带大量碎屑物质直入浅湖或半深湖区快速堆积形成的扇状沉积。蓬莱镇组所见湖底扇主要与入湖的大型水道有关, 而与滑塌作用有关的浊积扇较少见。湖底扇沉积主要见于位处半深湖的双流煎茶、成都龙泉驿茶店子和蓬溪蓬莱镇等地, 其沉积特征如川泉 173 井等(图 3)。湖底扇沉积岩石类型为褐黄、黄褐色厚层状细粒长石砂岩、长石石英砂岩、粉砂岩夹泥岩、页岩、泥灰岩透镜体。灰岩、页岩砾中见有介形虫、叶肢介等碎屑。砂岩中还常见呈豆粒状的菱铁矿结核。底面及内部见冲刷面, 层内发育平行层理、板状交错层理、递变层理。上下围岩均为较纯泥岩、页岩、泥灰岩等水体较深的沉积。湖底扇沉积水道主要为厚层砂岩, 水道间沉积为薄层砂岩与泥、页岩互层。另外在川南荣县度佳, 于自流井组马鞍山段浅湖—半深湖沉积中也发现有浊积扇沉积, 浊积岩层厚约 60 cm, 夹在褐黄色薄层粉砂质泥岩与紫色泥

岩之间, 为黄灰色砾屑灰岩(或钙岩屑细砾岩), 发育下粗上细的正递变层理, 顶部变为钙屑砂岩。

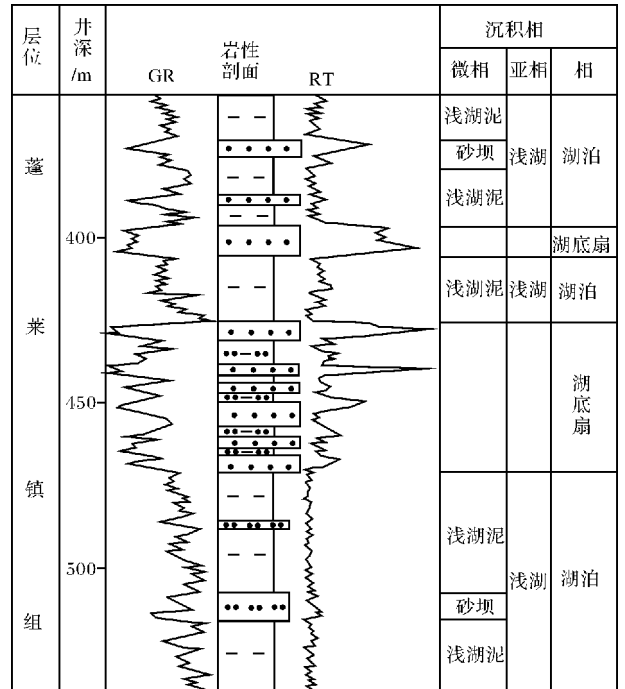


图 3 川泉 173 井湖泊及湖底扇相沉积特征

Fig 3 Sedimentary features of lake and sublacustrine fan in Well Chuan-quan 173

### 2.3 湖泊扇三角洲体系

扇三角洲主要见于遂宁组、莲花口组、蓬莱镇组地层之中, 其沉积特征如川 130 井等(图 4), 按岩石组合、剖面结构及层理特征等, 可进一步识别出扇三角洲平原、扇三角洲前缘、前扇三角洲三个亚相。

扇三角洲平原亚相由辫状河道和河道间洪泛平原亚相组成, 辫状河道微相主要为厚层状砂岩或含砾砂岩组成, 泥质含量较高, 分选性差, 多为泥质不等粒砂岩或泥质含砾不等粒砂岩。其中多发育平行层理, 冲刷面常见, 偶见板状及槽状交错层理, 砂体具向上变细的正粒序特点。河道间洪泛平原亚相主要由紫红色、砖红色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩组成, 一般不显层理, 其中发育钙质结核、干裂及生物扰动构造, 风化面破碎, 呈疙瘩状, 具有快速堆积的特征, 在盆地西缘的邛崃火井至都江堰青城山一线的遂宁组和莲花口组地层中较为典型。

扇三角洲前缘亚相是扇三角洲的主体, 系扇面河道伸入湖盆内的沉积体, 包括水下分流河道沉积和下水下河道间沉积两种微相类型。水下分流河道沉积以棕灰色、灰紫色岩屑砂岩为主, 粉砂岩次之, 砂体多呈

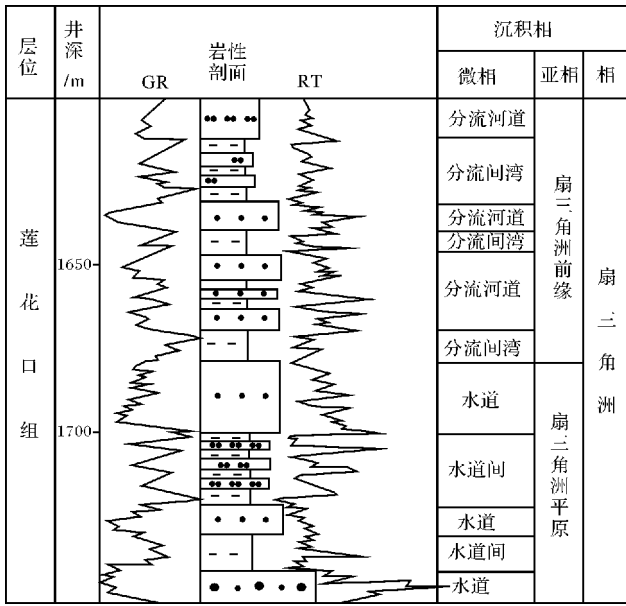


图 4 川 130 井扇三角洲相沉积特征

Fig 4 Sedimentary features of fan delta in Well Chuan 130

厚层状, 底界面平坦, 发育板状、楔状交错层理、沙纹层理。水下分流河道间沉积主要由棕红色、紫红色粉砂岩、泥岩或两者的过渡类型组成, 发育虫管、生物扰动构造及沙纹层理、水平层理。在垂向剖面上, 两者构成向上变细的半韵律, 扇三角洲前缘亚相粒度较细, 湖水的作用特征明显, 滑塌构造、枕状构造发育, 并可与浅湖相沉积伴生。

前扇三角洲已完全受控于湖盆的作用, 与浅湖相沉积类似, 其岩石组成类型以中—薄层棕红色粉砂质泥岩、泥岩为主, 水平层理发育, 具虫管、生物扰动构造及浪成沙纹层理。

### 2.4 湖泊三角洲体系

川西前陆盆地侏罗系中三角洲相较发育, 主要分布于上统蓬莱镇组等地层中, 可进一步划分出三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲三个亚相。而前三角洲亚相与浅湖相, 三角洲平原与河流冲积平原都较难区分。

三角洲平原亚相由分流河道、分流河道间沉积组成。分流河道沉积是三角洲平原的骨架砂体, 主要由细—中粒长石砂岩、岩屑砂岩及长石石英砂岩或岩屑石英砂岩组成, 其次为中粗粒砂岩, 少量含砾粗砂岩。砂岩中发育中至大型板状交错层理, 槽状交错层理, 楔状交错层理及平行层理, 砂体底部一般都具有明显的冲刷面构造。

三角洲前缘亚相由水下分流河道、河口砂坝、水

下分流间湾等微相组成, 其沉积特征如关基井等 (图 5)。水下分流河道沉积主要为灰黄色、紫灰色细粒长石砂岩、长石石英砂岩, 发育冲刷面, 中型至大型板状、槽状、楔形交错层理及平行层理等。水下分流间湾沉积主要为一套细粒悬浮成因的紫红色、暗紫红色及棕红色的泥岩、粉砂质泥岩, 少量粉砂岩或泥质粉砂岩, 发育小型板状交错层理、浪成沙纹层理、水平层理, 见浪成波痕, 钙质结核及虫管。河口砂坝沉积岩性上主要为紫灰色、棕红色中至厚层状细粒岩屑长石砂岩、岩屑石英砂岩及长石石英砂岩, 少量泥质粉砂岩。发育交错层理 (如板状、楔状等), 逆序层理及滑塌变形、包卷层理等, 并见枕状构造。远砂坝沉积主要由紫红色、棕灰色及褐灰色、紫灰色薄至中层状粉砂岩组成, 见小型板状交错层理、沙纹层理、水平层理及钙质结核、虫管。

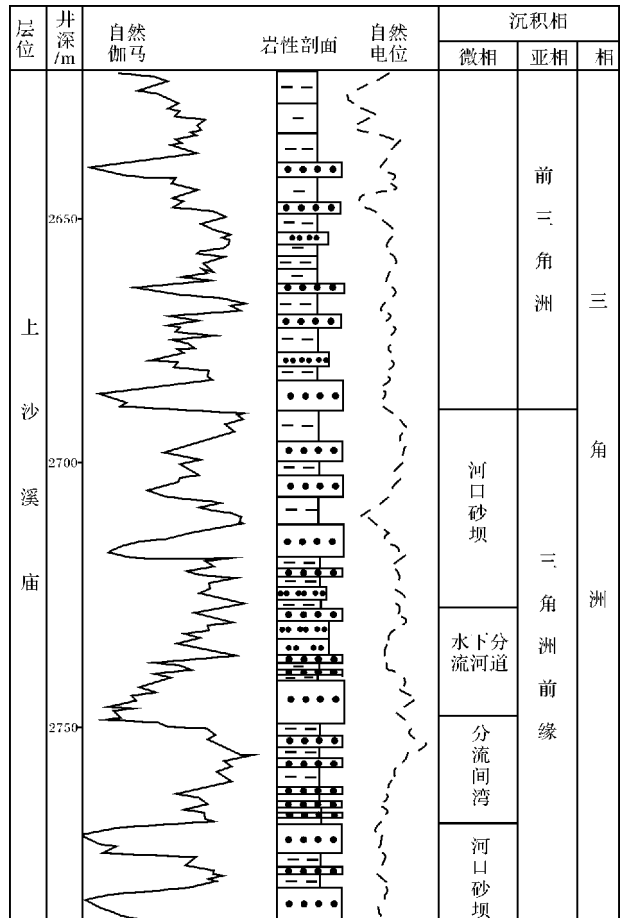


图 5 关基井三角洲沉积特征

Fig 5 Sedimentary features of delta in Well Guanji

前三角洲亚相位于三角洲前缘与浅湖过渡的宽广平缓地带, 占据浅湖位置。总体上该亚相与浅湖泥

呈过渡关系,二者难以区分,其沉积物组成主要为棕红色、紫红色、紫灰色的粉砂质泥岩、泥岩,并可夹少许薄层粉砂岩,水平层理、沙纹层理发育,见钙质结核及虫管。在相序上与席状砂或远砂坝互层。

### 3 川西前陆盆地侏罗纪沉积体系空间配置

早、中侏罗世,龙门山地区逆冲推覆活动减弱,处于以相对稳定的剥蚀隆升作用为主的休眠状态,而米仓山一大巴山地区因受到秦岭构造带自北东向南西推进、挤压和构造侵位的影响,进入持续增强的逆冲推覆构造活动期。这一由龙门山逆冲推覆减弱而米仓山一大巴山逆冲推覆增强的构造主应力作用方位的转移,不仅促使前陆盆地的前渊拗陷发育位置由位于龙门山前缘的川西地区向位于米仓山一大巴山前缘的川北和川东北地区迁移,从而进入米仓山一大巴山逆冲推覆作用为主的前陆盆地亚阶段演化阶段,而且亦造成盆地构造和沉积格局发生重大改观<sup>[21~23]</sup>。晚侏罗世盆地同时承受北西和北东两侧构造山系的逆冲推覆作用为显著特点,因而盆地的构造—沉积格局较前期又有所变化,早期特点为龙门山和米仓山一大巴山两逆冲推覆带构造活动相对较弱,除在龙门山前缘发育有小型冲积扇砾岩和扇三角洲相砂砾岩夹泥岩沉积,整个川西和川北地区以发育浅湖相为主,晚期两构造山系的隆升和逆冲推覆作用增强,前渊拗陷大幅度沉降,沿造山带发育多个沉降和沉积中心。

#### 3.1 早侏罗世沉积体系空间配置

早侏罗世龙门山地区的逆冲推覆活动开始减弱,而米仓山一大巴山地区的逆冲推覆构造活动开始活跃,使得川西前陆盆地沉降和沉积中心由龙门山前缘的川西地区开始向位于米仓山一大巴山前缘的川北和川东北地区迁移,使早侏罗世在南充—达川—万县—武隆—重庆一带沉积较厚发育湖滨—浅湖—半深湖沉积相,向四周则逐渐变浅(图 6)。受龙门山逆冲推覆和米仓山一大巴山逆冲推覆构造活动影响,龙门山与米仓山一大巴山的山前江油—广元一带,发育了一系列冲积扇体,并组成扇群,在江油—绵阳—梓潼一带,主要发育河流—滨湖沉积,在梓潼—一线以西地区发育三角洲平原相,在江油、绵阳、金堂一带可能为滨湖砂坝,在邛崃—新津地区,沉积自西北向西南依次为洪积扇相—河流相—三角洲相—滨浅湖相。沉积相的展布与沉积厚度变化相吻合,反映沉积基准面为一西北高、东南低的斜坡,而这个斜坡的形成主

要受龙门山抬升的影响。

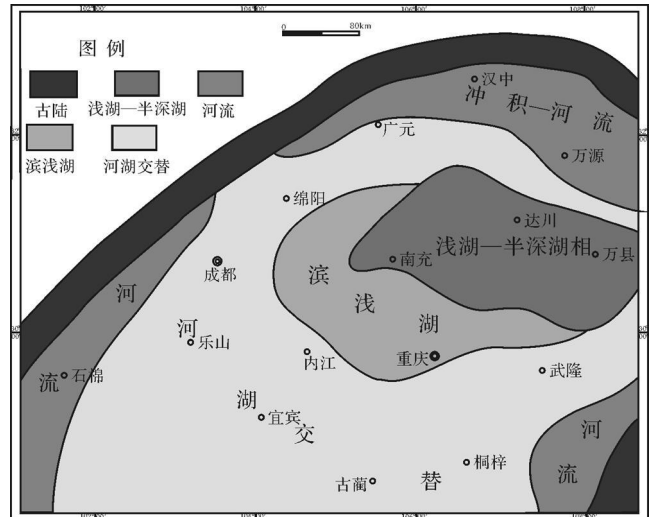


图 6 川西前陆盆地早侏罗世沉积体系平面展布图

Fig 6 Early Jurassic depositional system planar distribution in western Sichuan foreland basin

#### 3.2 中侏罗世沉积体系空间配置

中侏罗世沉积体系平面展布大致如图 7 所示。中侏罗世千佛崖期随着龙门山地区的逆冲推覆活动进一步减弱,米仓山一大巴山地区的逆冲推覆构造活动进一步增强,沉降中心不断向川北和川东北地区迁移至达川—万县一带,发育浅湖—半深湖环境。千佛崖期初,龙门山北段一度上升,山前堆积了厚 10 m 左右的冲积扇砾岩,随后湖盆相对下降,广大地区处于滨、浅湖—半深湖环境。千佛崖晚期向河流—滨湖相过渡,在绵阳—成都一带,主要为滨浅湖沉积。在川南、川西南地区,厚度很薄,与下伏地层之间有沉积间断。据邛崃火井剖面观察,之间虽为整合接触,在局部偶见冲刷现象。

中侏罗世下沙溪庙期湖泊仅在盆地的中南—南西部,发育滨浅湖。在龙门山前缘,河流相区呈带状平行龙门山走向分布。在盆地北部的广元,下部发育河流相向上逐渐演化为滨浅湖相。在盆地的中—北部,广泛分布三角洲相。在关基井,自下而上可识别出三角洲前缘—前三角洲—三角洲前缘亚相。

中侏罗世上沙溪庙期湖盆范围及沉积相发育与下沙溪庙期相似,但沉积厚度却要大得多,在米仓山一大巴山前缘的南江附近沉积的河流—扇三角洲相最厚,达 2 000 m,为本区的沉降—沉积中心。龙门山前缘,主要发育河流—冲积扇的沉积。在邛崃火井剖面,上沙溪庙组下部河流相中发育多个由下向上由



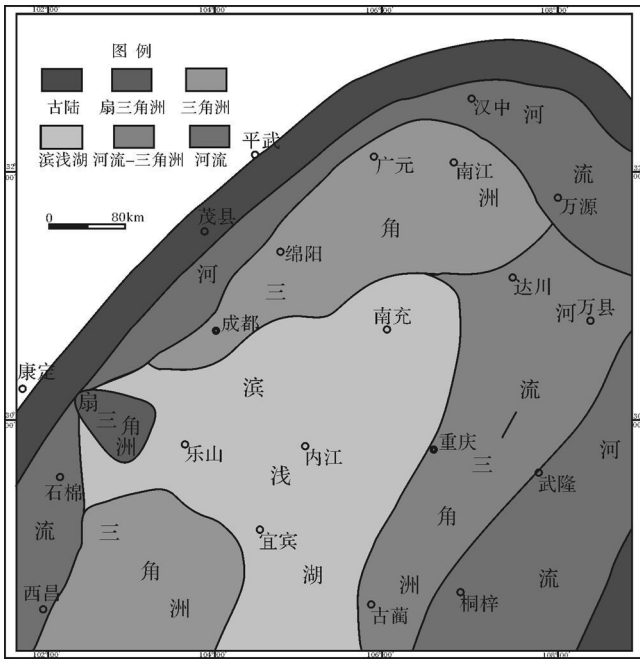


图 7 川西前陆盆地中侏罗世沉积体系平面展布图

Fig 7 Middle Jurassic depositional system planar distribution in western Sichuan foreland basin

粗变细的韵律旋回, 旋回的底部多为含砾粗砂岩, 向上变为中粒、细粒岩屑砂岩, 普遍见有底冲刷。向上演化为三角洲相。在关基井及广元, 整个上沙溪庙期均以三角洲相沉积为主。

### 3.3 晚侏罗世沉积体系空间配置

晚侏罗世早期, 龙门山地区的逆冲推覆活动虽然开始复活, 但还很弱; 而米仓山一大巴山地区的逆冲推覆构造活动已经减弱, 构造活动相对较为稳定。盆地内以滨浅湖相为主, 仅龙门山前地区发育河流相及扇三角洲相。在北部的广元, 遂宁组沉积的早一中期为滨浅湖相; 随着龙门山逆冲推覆活动的复活, 湖水退却, 于是遂宁组沉积的中晚期发育有一较大的扇三角洲沉积, 为灰紫色、紫红色长石石英砂岩夹泥岩沉积。在江油—绵阳—都江堰—邛崃一带的龙门山前缘地区, 除邛崃火井发育一较厚的冲积扇外, 其他地区均为河流相, 沉积厚度不超过 300 m。

晚侏罗世晚期, 随着龙门山地区的逆冲推覆活动进一步加剧, 山前拗陷呈狭长形且与龙门山的走向一致。山前的广元—梓潼—绵阳—都江堰一带, 河流冲积平原—三角洲十分发育; 该带之东南, 为一北东—南西走向的长条形滨浅湖区 (图 8)。该期另一显著特征是以滨浅湖为对称轴, 盆地东南部发育物源来自东部的河流及三角洲体系, 可以识别出的较大三角洲

朵状体有 3 个。此外, 在长条形沉积盆地的北东端, 也发育河流及三角洲相, 可以识别出 2 个较大三角洲朵状体。表明此期的川西前陆盆地三面环山, 其物源分别来自北西的龙门山、北东的米仓山一大巴山, 及南东的川东南断褶带。东南部的南充—营山一带河流相发育, 在蓬安北西可识别出一三角洲沉积体, 在南东侧湖岸线向湖盆内普遍发育水下三角洲。

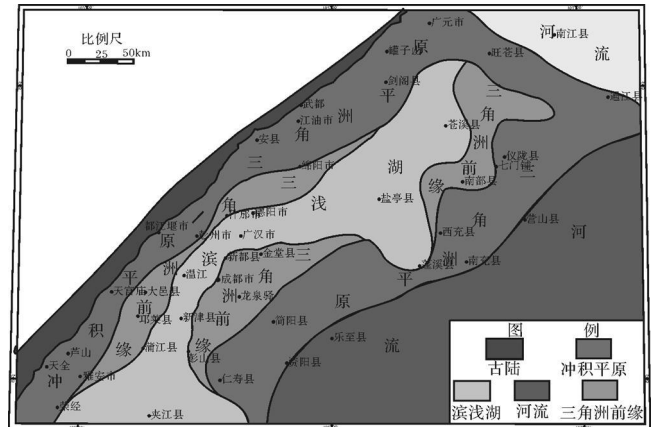


图 8 川西前陆盆地晚侏罗世沉积体系平面展布图

Fig 8 Late Jurassic depositional system planar distribution in western Sichuan foreland basin

## 4 主要认识与结论

(1) 通过对川西前陆盆地陆相碎屑岩充填实体的地表露头 and 钻井岩心的观察, 以及测井曲线和地震剖面的综合分析, 可将本区川西前陆盆地侏罗系地层的层序界面划分为 2 种类型: 不整合面及侵蚀沉积间断面和最大湖泛面, 共识别出 13 个界面。据此将川西前陆盆地侏罗系地层划分为 13 个三级层序。在盆地中从南到北共截取了川西前陆盆地南部 (10 个剖面)、川西前陆盆地北部 (8 个剖面) 二个断面建立等时地层格架, 每个沉积断面都按照从盆地边缘到盆地中心的方向布置, 分别反映了盆地南北部由西向东的横向变化情况。同时在等时地层格架中进行了盆地内不同相带间的层序对比。展示了该区侏罗系层序除顶部 SQ13 外, 在全盆地范围内分布比较稳定, 一般 SQ1~SQ12 层序发育完全, 只是在个别地区底、顶发育不全或保留不完整。

(2) 在众多前人研究成果的基础上, 根据区域沉积格局和沉积作用特点, 在川西前陆盆地侏罗系中识别划分出 4 种沉积体系: 冲(洪)积、湖泊、扇三角洲、三角洲等沉积体系。并在层序格架下讨论了各沉积

体系平面展布规律: 从盆地西缘到东缘, 大体为冲积扇—冲积平原、三角洲平原—三角洲前缘—湖底扇—滨浅湖—半深湖—三角洲—曲流河的展布方式。

### 参考文献 (References)

- 何鲤, 柳梅青, 何治国, 等. 川西及邻区蓬莱镇组沉积层序特征及有利储集相带预测 [J]. 石油实验地质, 1999, 21(2): 119-136 [He Li, Liu Meiqing, He Zhiguo, et al. Sedimentary sequence characteristics and favorable reservoir facies-tract prediction for the Penglaizhen formation of west Sichuan and adjacent areas [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1999, 21(2): 119-136]
- 叶茂才, 易智强, 李剑波. 川西坳陷蓬莱镇组沉积体系时空配置规律 [J]. 成都理工大学学报, 2000, 20(1): 54-58 [Ye Mao Cai, Yi Zhiqiang, Li Jianbo. Distribution rule of sedimentary system of the upper Jurassic Penglaizhen formation in west Sichuan sag [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 20(1): 54-58]
- 尹世明. 川西坳陷蓬莱镇组构造—充填层序特征 [J]. 矿物岩石, 1999, 19(4): 40-46 [Yin Shiming. The characteristics of tectonic-fill ing sequences of Penglaizhen in west Sichuan depression [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1999, 19(4): 40-46]
- 张闻林, 张哨楠, 陈洪德, 等. 川西北部地区侏罗系层序地层特征 [J]. 天然气工业, 2005, 增刊 A [Zhang Wenlin, Zhang Shaonan, Chen Hongde, et al. Sequence stratigraphical characteristics of Jurassic in the north part of west Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 2005, (suppl A)]
- 赵永刚, 陈景山, 雷卞军, 等. 川西邛崃县白马庙气田上侏罗统蓬莱镇组高分辨率层序地层分析 [J]. 中国地质, 2005, 32(4): 674-681 [Zhao Yonggang, Chen Jingshan, Lei Bianjun, et al. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy of the Upper Jurassic Penglaizhen Formation in the Baianiao gas field Qingli County, Western Sichuan [J]. Chinese Geology, 2005, 32(4): 674-681]
- 胡晓强, 陈洪德, 纪相田, 等. 川西前陆盆地侏罗系三角洲沉积体系与沉积模式 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 226-231 [Hu Xiaoliang, Chen Hongde, Ji Xiangtian, et al. The Jurassic delta deposit system tract and sedimentation model in the west Sichuan foreland basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(3): 226-231]
- 徐强, 朱同兴, 牟传龙. 川西晚三叠世—晚侏罗世层序岩相古地理编图 [J]. 西南石油学院学报, 2001, 23(10): 1-4 [Xu Qiang, Zhu Tongxing, Mu Chuanlong. Sequence-paleogeographic mapping of Upper Triassic Xujiahe formation and Upper Jurassic Penglaizhen formation in west Sichuan [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2001, 23(10): 1-4]
- 董崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 19-28 [Tong Chongguang. Structural Evolution and Hydrocarbon Accumulation in Sichuan Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 19-28]
- 郭正吾, 邓康龄, 韩永辉, 等. 四川盆地形成与演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1996: 72-88 [Guo Zhengwu, Deng Kangling, Kang Yonghui, et al. Formation and Evolution of Sichuan Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 72-88]
- 刘树根. 龙门山冲断带与川西前陆盆地的形成演化 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 17-21 [Liu Shugen. The Formation and Evolution of Longmenshan Thrust Zone and Western Sichuan Foreland Basin, Sichuan, China [M]. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 1993: 17-21]
- 李勇, 曾允孚, 伊海生. 龙门山前陆盆地沉积与构造演化 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1995: 8-10 [Li Yong, Zeng Yunfu, Yi Haisheng. Sedimentary and Tectonic Evolution of the Longmenshan Foreland Basin, Western Sichuan, China [M]. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 1995: 8-10]
- 苟宗海, 赵兵, 吴山. 四川大邑、崇州、汶川、都江堰毗邻地区的侏罗系 [J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(1): 31-39 [Gou Zonghai, Zhao Bing, Wu Shan. Jurassic system of Dayi, Chongzhou, Wenchuan and Dujiangyan, Sichuan [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(1): 31-39]
- 胡晓强, 陈洪德, 纪相田, 等. 川西前陆盆地侏罗系层序地层 [J]. 西南石油学院学报, 2006, 28(2): 16-19 [Hu Xiaoliang, Chen Hongde, Ji Xiangtian, et al. Jurassic sequence stratigraphy in the west Sichuan foreland basin, China [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2006, 28(2): 16-19]
- 钱奕中, 陈洪德, 刘文均. 层序地层学理论和研究方法 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 96-107 [Qian Yizhong, Chen Hongde, Liu Wenjun. Sequence Stratigraphy Study Theories and Research Method [M]. Chengdu: Press of Sichuan Science and Technology, 1994: 96-107]
- 丘东洲, 付清平. 川西坳陷南区侏罗系层序地层与油气 [J]. 天然气工业, 2000, 20(4): 5-10 [Qiu Dongzhou, Fu Qingping. Sequence stratigraphy and hydrocarbon potential of Jurassic in the south part of west Sichuan depression [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(4): 5-10]
- 郑荣才. 四川盆地地下侏罗统大安寨段高分辨率层序地层学 [J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 42-49 [Zheng Rongcai. High resolution sequence stratigraphy of Daanzhai formation, lower Jurassic in Sichuan basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2): 42-49]
- 魏力民, 柳梅青. 川西新场蓬莱镇组层序地层研究与储层横向预测 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 220-225 [Wei Limin, Liu Meiqing. Study on sequence stratigraphy of Penglaizhen formation in Xinchang, west Sichuan and reservoir lateral prediction [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 220-225]
- Galloway W E. Genetic stratigraphic sequence in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 125-142
- 王亮国, 余福林, 邓康龄, 等. 川西坳陷侏罗系沉积环境与采收率 [J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 13-16 [Wang Lianguo, Yu Fulin, Deng Kangling, et al. The sedimentary environment of Jurassic depression in west Sichuan [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2000, 2001, 8(1): 13-16]
- 王亮国, 曹烈, 邓康龄, 等. 川西坳陷侏罗系沉积相与生烃关系研究 [J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(1): 38-43 [Wang Lianguo, Cao Lie, Deng Kangling, et al. Jurassic sedimentary facies and hydrocarbon generation in west Sichuan depression [J]. Sedimentary Geology, 2001, 21(1): 38-43]

- gy and Tethyan Geology, 2000, 2001, 21(1): 38-43]
- 21 朱志军, 陈洪德, 林良彪, 等. 川西前陆盆地蓬莱镇期层序岩相古地理特征及演化[J]. 地层学杂志, 2009, 33(3): 113-120 [Zhu Zhijun, Chen Hongde, Lin Liangbiao, *et al*. Sequence-based lithofacies and paleogeographic characteristics and evolution of Penglaizhen Formation in Western Sichuan Foreland Basin [J]. Journal of Stratigraphy, 2009, 33(3): 113-120]
- 22 刘鸿允. 中国古地理图集 [M]. 北京: 地质出版社, 1955 [Liu Hongyun. Atlas of the Paleogeography of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1955]
- 23 王鸿祯, 等. 中国古地理图集 [M]. 北京: 科学出版社, 1985 [Wang Hongzhen, *et al*. Atlas of the Paleogeography of China [M]. Beijing: Science Press, 1985]

## Framework of Sequence Stratigraphy, Sedimentary System and Evolution of Jurassic in Western Sichuan Foreland Basin

ZHU Zhijun<sup>1,2,3</sup> CHEN Hongde<sup>1,3</sup> HU Xiaoqiang<sup>3</sup> LIN Liangbiao<sup>3</sup> XU Shenglin<sup>3</sup>

(1 State Key Lab of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation (Chengdu University of Technology), Chengdu, 610059

2 College of Geosciences and Measurement Engineering East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi 344000;

3 Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059)

**Abstract** Based on observing surface outcrops and drilling cores, comprehensive analysis well logs and seismic profiles, sequence interface was identified and tracked which break up Jurassic continental facies clastic rock filling entities in the western Sichuan foreland basin, and sequence interface was divided into two types in this area: unconformity and erosion sediment discontinuity and maximum flooding surface (MFS), 13 sequence boundaries identified in the whole basin of Jurassic strata, as well as the western Sichuan foreland basin. Jurassic is divided into 13 sedimentary sequences. According to sedimentary characteristics of basin, from west to east, selecting of some representative sequence profiles in order to sequence correlation between different facies tract in this basin, and set up Jurassic sequence stratigraphic framework. And then four kinds of depositional systems were identified in the western Sichuan foreland basin Jurassic: alluvial (diluvial), lakes fan delta, delta depositional system, and so on. And it is discussed that the horizontal distribution of depositional system under sequence stratigraphic framework. Generally, from the west margin to the east margin of the basin, the distribution ways are the alluvial fan—the alluvial plain—delta plain—delta front—sublacustrine fan—shore and shallow lake—deep lake—delta—meandering river. The range of the alluvial fan and alluvial plain is relatively small, and the distribution of delta—shore and shallow lake is wide-ranging, and the delta and shallow lake frequent at the turn in vertical.

**Key words** western Sichuan foreland basin; Jurassic; framework of sequence stratigraphy; sedimentary system; sequence boundary